



УДК 621.039

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТВОДА
ОСТАТОЧНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ОТВС В
ШАХТЕ-ХРАНИЛИЩЕ РЕАКТОРА ИВВ-2М****ANALYSIS OF RESIDUAL HEAT REMOVAL
EFFICIENCY FROM THE SPENT FUEL
ASSAMBLIES IN THE IVV-2M REACTOR
STORAGE PIT**

Литвинов Данил Николаевич, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: devlitvinov@icloud.com. Тел.: +7(343) 375-97-37

Севастьянов Михаил Михайлович, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mikas45@mail.ru. Тел.: +7(343) 375-97-37

Климова Виктория Андреевна, ст. преподаватель каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.a.klimova@mail.ru. Тел.: +7(343) 375-97-37

Ташлыков Олег Леонидович, кан.-т. техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: otashlykov@list.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

Danil N. Litvinov, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: devlitvinov@icloud.com. Ph.: +7(343)375-97-37

Mikhail M. Sevastyanov, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mikas45@mail.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Viktoriya A. Klimova, Senior lecturer, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.a.klimova@mail.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Oleg L. Tashlykov, Cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: otashlykov@list.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Аннотация: В работе описано исследование эффективности отвода тепловыделений облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС), выгруженных из активной зоны реактора в шахту-хранилище, за счёт естественной циркуляции воды при обесточивании.

Abstract: It is described the investigation of the efficiency of residual heat removal from the irradiated fuel assemblies removed from the reactor core to the storage pit, due to the natural circulation of water, with deenergizing.

Ключевые слова: бассейн выдержки; конвекция; ОТВС; теплоноситель; теплообменник; исследовательский ядерный реактор.

Key words: spent fuel pool; convection; spent fuel assembly; coolant; heat exchanger; research nuclear reactor.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе проведено компьютерное моделирование аварийного режима эксплуатации

шахты-хранилища (ШХ) облучённых топливных сборок (далее ОТВС) исследовательской ядерной установки (ИЯУ) ИВВ-2М.

Шахта-хранилище (Рис. 1) предназначена для хранения ОТВС, завершивших свой цикл работы в реакторе ИВВ-2М, и снижения тепловыделения сборок методом выдержки в постоянно циркулирующем теплоносителе.

Бак ШХ ОТВС представляет собой корпус прямоугольной формы, внутренние размеры которого составляют 805х1747 мм, высота 5250 мм. Стенки и днище бака выполнены из нержавеющей листовой стали типа 12Х18Н10Т, толщина стенок 4 мм, толщина днища 10 мм.

Внутришахтное оборудование:

- сепаратор стационарный – предназначен для размещения ОТВС и представляет собой конструкцию из алюминиевых труб, в которых размещаются ОТВС, которые связаны трубными решётками вверху и внизу, для жёсткости конструкции;
- сепаратор съёмный – предназначен для размещения ОТВС. Меньше стационарного сепаратора, что позволяет их использовать в любой момент работы реактора и устанавливать в

свободное пространство стационарных сепараторов.

Существуют два эксплуатационных режима работы шахты-хранилища:

- режим нормальной эксплуатации, когда циркуляция теплоносителя осуществляется по большому контуру;
- режим с максимальным принудительным охлаждением теплоносителя – функционирование ШХ ОТВС осуществляется по малому (среднему) контуру в условиях экстремальной оперативной выгрузки из реактора в шахту всех ТВС штатной активной зоны, что составляет до 42 ТВС, с повышенным остаточным тепловыделением.

Помимо принудительной циркуляции воды через ШХ в нормальном режиме также предусмотрена вентиляция пространства над шахтой для интенсификации теплоотвода за счет испарения.

Заметим, что по консервативным оценкам суммарное энерговыделение ОТВС может достигать 184 кВт.

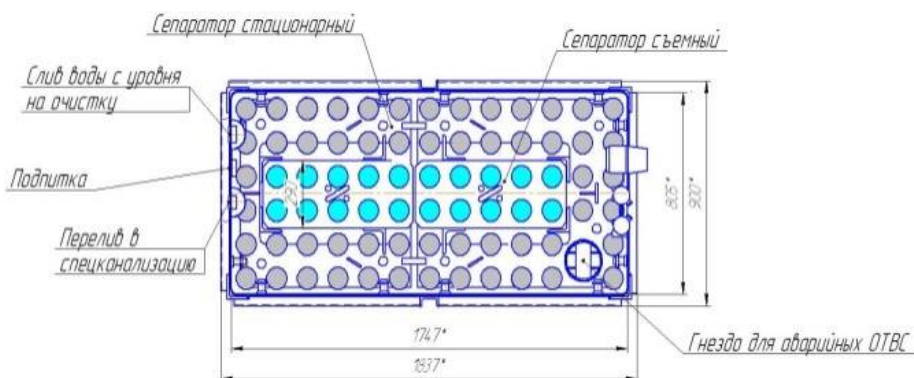


Рис. 1. Чертёж шахты-хранилища: вид сверху

Аварийный режим работы, анализируемый в данном исследовании, является отклонением от условий и пределов нормальной эксплуатации ШХ ОТВС, с отключением электроснабжения, приводящего к обесточиванию оборудования реактора ИВВ-2М и ШХ, включая систему контроля и управления.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является анализ циркуляции воды в шахте-хранилище при отключенных насосах и вентиляции. Теплоотвод от ОТВС в данном случае осуществляется за счет теплопроводности и естественной конвекции.

В ходе исследования была построена модель ШХ ОТВС и выполнен теплогидравлический расчет на модели. Исследование проводилось в программном комплексе модуле SolidWorks Flow Simulation, предназначенном для анализа гидродинамики и теплообмена.

При построении трёхмерной компьютерной модели основного оборудования ШХ, полностью повторяющей размеры исследуемого объекта, были приняты некоторые допущения. Например, не рассматривалась внутренняя структура ОТВС – они моделировались как однородные шестигранные призмы с усредненными теплофизическими свойствами. Также были упразднены некоторые элементы ШХ, не оказывающее существенного влияния на теплообмен в баке – ребра жесткости, дистанционирующие конструкции и т. п.

Исходные данные для расчета теплогидравлических характеристик:

- нестационарная «внутренняя» задача с учетом гравитации;
- в качестве начальных условий были приняты значения температур воды и поверхности ТВС, характерные для режима нормальной эксплуатации;

– объемный источник теплоты на ТВС, расположенные в шахте-хранилище;
 – граничное условие типа «реальная стенка» с температурой 30°C в верхней части ШХ, моделирующее теплообмен между водой и окружающим воздухом. Соответствует действительному значению температуры помещения при отключенной вентиляции. Здесь же задавалось поглощение теплоты, моделирующее теплоотвод за счет испарения.

Расчет проводился при суммарном тепловыделении всех ТВС в шахте 273 кВт, обусловленном экстренной выгрузкой сборок из активной зоны реактора и их повышенным энерговыделением (полная загрузка первого яруса). Также был проведен расчет в режиме частичной загрузки – 62 сборки из активной зоны реактора с суммарным тепловыделением 135,8 кВт и несколько промежуточных вариантов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При полной загрузке первого яруса шахты-хранилища через 211 секунд от начала расчета была достигнута температура 99,63°C (в точке на верхней грани одной из ТВС). Следовательно, с этого момента времени начинается закипание теплоносителя.

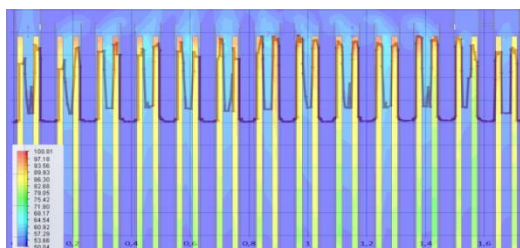


Рис. 2. Картина в сечении с наложенным графиком температуры по ширине ШХ в зоне тепловыделяющих сборок

В режиме частичной загрузки первого яруса шахты хранилища за 1 680 секунд (28 минут) максимальная температура теплоносителя поднялась до 65,81°C.

Время обусловлено высоким объемом теплоносителя, предусмотренный конструктивно, позволяющий передавать большее количество теплоты, большой площадью поверхности соприкосновения с внешней средой, увеличением разниц давлений и температур между нижней и верхней точками теплоносителя в шахте, что повлекло за собой увеличение степени естественной конвекции с течением времени (увеличение завихрений в потоке).

Проанализируем данные, выбрав одну ТВС из массива:

- рост температуры имеет экспоненциальный характер;
- максимум температуры на момент появления точки кипения теплоносителя составляет 94.6 °С.

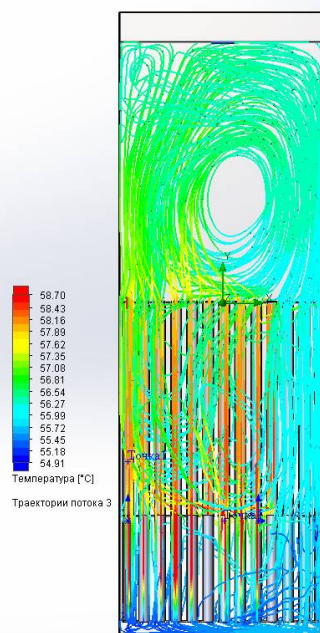


Рис. 3. Распределение потоков в срединном сечении ШХ ОТВС

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алямовский А. А. Solidworks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 562 с.
2. Гершуни Г. З., Жуховицкий Е. М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. — М.: Наука.— 1972.
3. Безопасность ядерных энергетических установок: Учебное пособие для вузов/О. Б. Самойлов, Г. Б. Усынин, А. М. Бахметьев. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.: ил.
4. Исаченко В. П. и др. Теплопередача: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1975.
5. Остроумов Г. А. Свободная тепловая конвекция в условиях внутренней задачи. Москва — Ленинград. Гостехиздат. — 1952.
6. Электронный научный архив УрФУ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://elar.urfu.ru/>, свободный. – (10.11.2017).
7. Литвинов Д.Н. Исследование эффективности отвода остаточных тепловыделений облученных топливных сборок в шахте-хранилище исследовательского реактора / Литвинов Д. Н., Севастьянов М. М., Шумков Д. Е. // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / под ред. В. Ю. Балдина [и др.] - Екатеринбург, 2017 - С. 842-845.